

# 아스팔트 콘크리트 포장의 반사균열 저항성 평가를 위한 반복직접인장시험의 파괴기준 설정

이봉림\* · 김낙석\*\*

Lee, Bong Lim\* · Kim, Nakseok\*\*

## Establishment of Failure Criteria of Repeated Direct Tensile Test to Evaluate Reflective Cracking Resistance of Asphalt Concrete Pavement

### ABSTRACT

There are various test methods for evaluating the reflective cracking resistance of asphalt concrete pavement. Repeated direct tensile test is cheap and simple compared to the other traditional experimental methods. Determination of failure criteria is needed to apply a repeated direct tensile test. Various methods were used to determine the number of failure of repeated direct tensile test. The number of failure was defined as the time to reach 10% of the initial load, this method can be satisfied with specified tolerance of 10%. When the thickness of specimen is increased to 50 mm from 30 mm, the failure number is increased by 13.6 times. Thus, this result shows that the thickness of pavement is a big influence on the reflective cracking resistance. Reflective cracking resistance of asphalt concrete is decreased according to the increase in opening displacement. The repeated direct tensile test can be used as a reflective cracking resistance factor in pavement design, because it can evaluate the reflective cracking resistance according to the pavement thickness, opening displacement, material properties etc.

**Key words :** Reflective cracking, Repeated direct tensile test, Failure criteria, Pavement thickness

### 초 록

아스팔트 콘크리트 포장의 반사균열 저항성을 평가하기 위해 다양한 방법이 적용되고 있다. 반복직접인장시험은 기존실험에 비해 저렴하고 간편하게 아스팔트 콘크리트 포장의 반사균열 저항성을 평가할 수 있는 장점이 있다. 국내에 반복직접인장시험을 도입하기 위해서는 파괴기준의 설정이 필요하다. 반복직접인장시험의 파괴횟수를 결정하기 위해 다양한 방법을 검토한 결과 초기하중의 10%일 때를 파괴시점으로 산정할 경우 10% 이내의 반복횟수 편차를 나타내었다. 아스팔트 콘크리트의 두께가 30 mm에서 50 mm로 증가할 경우 파괴횟수는 13.6배 증가하여 포장두께가 반사균열 저항성에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 또한 재하변형의 크기가 클수록 반사균열의 진전속도가 증가하는 것으로 나타났다. 반복직접인장시험은 포장 두께, 변형크기, 재료적 특성에 따라 반사균열저항성을 정량적으로 평가할 수 있기 때문에 포장설계시 반사균열 저항성 평가 방법으로 적용 가능한 것으로 나타났다.

**검색어 :** 반사균열, 반복직접인장시험, 파괴기준, 포장두께

\* 경기대학교 토목공학과 박사과정 (Kyonggi University · jaa5550@naver.com)

\*\* 중신회원 · 교신저자 · 경기대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · Kyonggi University · nskim1@kgu.ac.kr)

Received July 12, 2016/ revised August 29, 2016/ accepted September 13, 2016

## 1. 서론

도로는 국가 물류이동의 중추적 역할을 하며 국가 발전과 국민 편의를 위한 중요한 자산이다. 사회 발전에 따라 도로망의 확충이 꾸준히 진행되어 왔으며, 현재 국내의 도로연장은 2014년 기준 105,673 km에 달하며 포장율은 91.6%에 이르고 있다(MOLIT, 2014). 지난 30년간 지속적인 도로 인프라 투자로 2004년 이미 도로의 총연장은 100,000 km를 넘었으며 이후 증가율이 낮아져 총연장에 큰 변화가 없어지는 추세로 국가 도로망은 어느 정도 완성된 것으로 판단 할 수 있다. 현재는 도로 신설보다는 차량 등록 대수와 중차량의 증가로 도로의 파손이 늘어나고 있으며 이에 따라 기존 도로의 유지보수에 많은 관심이 집중되고 있는 상황이다.

아스팔트 콘크리트 포장의 주요 파손 형태는 과거에는 소성변형이 주를 이루었으나 배합설계방법 및 품질관리의 개선, 소성변형 저항성이 뛰어난 개질 아스팔트 바인더의 사용 등으로 소성변형으로 인한 파손은 감소하고 있는 추세이다. 반면 급격한 기온 변화, 장우/장설로 인한 포장 파손 등 균열에 의한 파손이 증가하고 있는 상황이다. 특히 기존 포장의 유지관리를 위한 보수방법으로 주로 사용되는 아스팔트 콘크리트 덧씌우기 포장의 경우 기존 포장의 균열이 상부 포장층으로 전이되는 반사균열의 발생이 늘어나고 있다.

국내 고속도로 포장의 약 65%는 시멘트 콘크리트 포장으로 이루어져 있다. 이중 공용년수 20년 이상의 포장이 9%에 이르며 88고속도로, 호남고속도로의 경우 재령 25년 이상에 다다랐다(Kim, 2015). 노후된 시멘트 콘크리트 포장의 보수 방안으로 아스팔트 콘크리트 포장의 덧씌우기 공법이 주로 적용되고 있다. 그러나 기존 콘크리트 포장의 균열 및 줄눈부가 Fig. 1과 같이 덧씌우기 된 아스팔트 콘크리트 포장으로 전이되는 반사균열로 인해 포장의 조기파손이 빈번히 발생하는 문제가 나타나게 되었다.

현재 국내의 아스팔트 콘크리트의 균열 저항성을 평가하는 방법은 간접인장강도시험을 주로 적용하고 있다. 간접인장강도시험은

시험이 간편하고 비용이 저렴한 장점이 있으나 아스팔트 콘크리트의 파괴강도를 평가하기 때문에 파괴강도에 미치지 못하는 작은 하중의 지속적인 작용에 의해 발생하는 반사균열이나 피로균열에 대한 평가에는 적절치 못한 단점이 있다. 차량 통행에 따라 반복적으로 작용하는 하중에 의해 상부층으로 전이되는 형태의 반사균열을 모사하기 위해서는 포장가속시험과 같은 많은 시간과 비용을 필요로 하는 시험을 통해서 평가할 수밖에 없는 현실이다. 따라서 본 연구에서는 반사균열 저항성 평가를 보다 간편하고 저렴한 비용으로 수행할 수 있는 반복직접인장시험(RDT, Repeated Direct Tensile Test)으로 반사균열 저항성을 평가하고 반사균열에 영향을 미치는 인자에 대해 파악하고자 한다. 이를 위해 소규모 시험에 반사균열을 모사할 수 있는 반사균열시험기를 선행연구를 참고하여 제작하였다. 피로시험의 경우 파괴기준에 따라 결과에 큰 차이를 보일 수 있는데 Alneami and Almudadi (2011), Zhou and Scullion (2003) 등의 선행 연구에서 파괴시점의 판단 기준이 육안판측 또는 시험자의 주관적 판단에 따르는 문제점이 있어 이를 객관적으로 판단할 수 있는 기준을 제시하고자 한다.

## 2. 반사균열의 메커니즘

반사균열은 기존포장에 존재하던 균열이 새로운 아스팔트 콘크리트 포장층으로 전이되어 발생하는 균열을 말한다. 반사균열은 주로 시멘트 콘크리트 포장위에 아스팔트 콘크리트 덧씌우기 포장 시 시멘트 콘크리트 포장의 균열 및 시공이음 존재하는 부분의 상부에서 발생하며 아스팔트 콘크리트 포장 상부에 아스팔트 콘크리트 포장을 덧씌우기 한 경우에도 발생한다.

일반적으로 반사균열은 기존 포장의 균열이나 시공이음 바로 위에 나타난다. 반사균열의 주요원인은 기존 포장체의 온도변화에 따른 수축팽창과 차량 통행에 따른 인장응력에 의한 움직임이다. 집착상태의 상하 포장층은 하부층의 기존 균열 또는 시공이음 부분에서 발생한 움직임이 상부층으로 직접적으로 전달되어 상부 포장층에 인장응력을 발생시키고 인장응력이 포장체의 인장강도

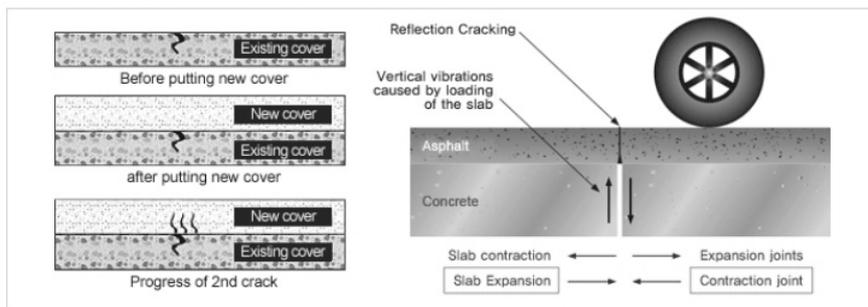


Fig. 1. Mechanisms of Reflective Cracking (www.roadseal.co.kr)

를 초과할 경우 반사균열이 발생하게 된다. 반사균열은 기존 포장층의 균열 크기, 온도변화량, 포장체의 열팽창계수에 영향을 받는다 (Rigo, 1993). 아스팔트 콘크리트 포장의 반사균열 저항성을 평가하기 위해서는 하부 균열의 규모를 모사하고 반복적인 하부층의 수평변위에 의한 균열의 진전을 평가할 수 있는 시험방법이 필요하다.

### 3. 시험방법

#### 3.1 반복직접인장 시험기

반사균열 모사를 위한 반복직접인장 시험기는 1970년대 Germann and Lytton (1979)에 의해 처음 개발되었다. 시험의 기본적인 컨셉은 Fig. 2와 같이 기존 포장을 모사하는 두 개의 금속판위에 아스팔트 콘크리트 시편을 접착하고 좌우로 변형을 발생시켜 시편에 발생하는 균열을 관측하는 것이다.

초기 시험기의 경우 길이 375 mm, 폭 75 mm 또는 길이 500 mm, 폭 150 mm의 대형 시편을 사용하였다. 시편의 크기가 커서 실내 제작에 어려움이 있으며 특히 현장 시료를 채취하여 시험하기에는 무리가 있었다. 이후 Texas 도로국에서는 지름 150 mm의 원형 공시체도 사용할 수 있도록 계량하여 사용하고 있다(Zhou and Scullion, 2005).

실험은 Fig. 2와 같이 직사각형 모양의 공시체를 금속판위에 접착한 후 하부 금속판이 반복적으로 일정한 간격으로 좌우로 왕복 이동하면서 공시체 하부에 균열을 발생시키며 발생된 균열이

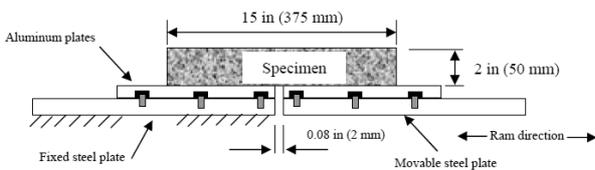


Fig. 2. Concept of Overlay Tester



Fig. 3. Repeated Direct Tensile Tester

진전되어 파괴에 이를 때까지 반복된 재하횟수를 측정하여 아스팔트 콘크리트의 반사균열 저항성을 평가하는 것이다.

본 연구에서는 Texas 도로국에서 제작한 TTI (Texas Transportation Institute) 반사균열 시험기를 참고하여 반복직접인장 시험기를 Fig. 3과 같이 제작하였다. 1 mm 미만의 미세한 변형을 시편에 가할 수 있도록 안정적인 전기모터를 이용한 구동계를 적용하였으며 Fig. 4의 컴퓨터 연결 프로그램을 통한 제어로 변형

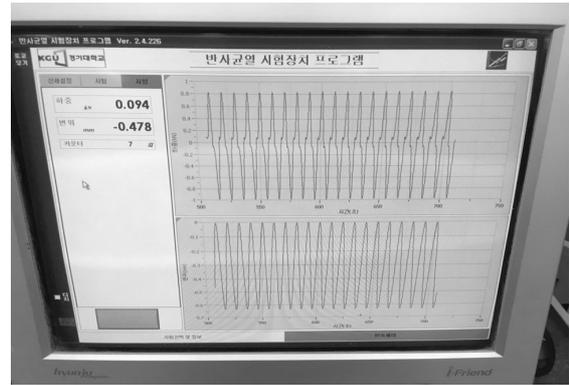


Fig. 4. Computer Control Program

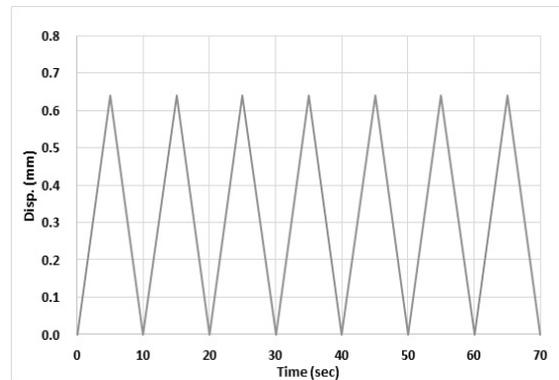


Fig. 5. Loading Type of TTI

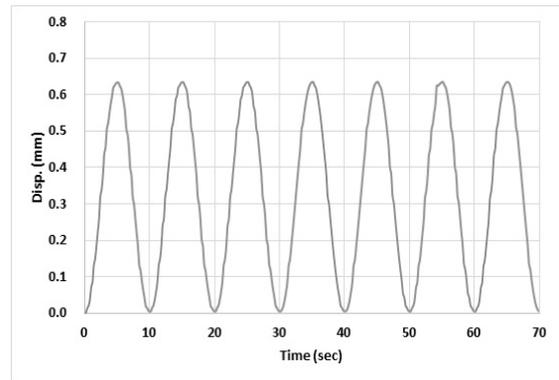


Fig. 6. Loading Type of RDT

길이의 제어와 측정되는 인장강도 및 변형을 저장할 수 있도록 제작하였다.

변형제어 하중타입의 경우 TTI 시험기의 경우는 Fig. 5와 같은 삼각형 형태의 하중을 제하고 있다. 이는 시험장비의 구동 방식이 기계적 기어 맞물림에 의한 것으로 이와 같은 하중 형태의 경우 실제 도로에서 발생하는 형태와는 다소 차이가 있다. 실제 포장 변형은 Fig. 5와 같이 수축에서 팽창으로 변하는 시점이 급격히 이루어지지 않으며 삼각형 형태의 변형제어의 경우 첨단 부근에서 충격응력이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서 제작한 RDT 시험기의 경우 Fig. 6과 같은 haversine 형태의 하중을 가하도록 하였다. 가할 수 있는 변형의 크기는 0.1~10 mm까지 변형제어가 가능하도록 하였다.

### 3.2 공시체 제작

본 연구에서는 반사균열이 특히 문제가 되고 있는 시멘트 콘크리트 포장 위 아스팔트 콘크리트 덧씌우기의 경우를 고려하고자 하였다. 대부분의 시멘트 콘크리트 포장은 고속국도에 적용되어 있으며 따라서 고속국도를 관리하는 한국도로공사에서 주로 적용하는 아스팔트 콘크리트인 PSMA 아스팔트 콘크리트로 공시체를 제작하고 시험을 진행하였다. 아스팔트 바인더는 PG 76-22의 SBS 개질 아스팔트 바인더를 사용하였으며, 섬유를 혼합물 중량의 0.3%를 사용하였다. 배합설계결과 최적아스팔트 함량은 6.7%이며, 공극률은 4%로 설계하였다. 시험을 위한 공시체의 크기는 길이 150 mm, 폭 70 mm 이상이면 가능하나 본 연구에서는 길이 300 mm, 폭 75 mm의 공시체로 시험을 수행하였다. 길이 150 mm 공시체는 공시체의 두께나 인장강도가 크면 인장시에 공시체가 휘면서 금속판과 떨어지는 사례가 발생하여 보다 안정적인 실험을 위해 공시체의 길이를 300 mm하여 충분한 접착력을 확보할 수 있도록 하였다. 포장 두께에 따른 영향을 검토하기

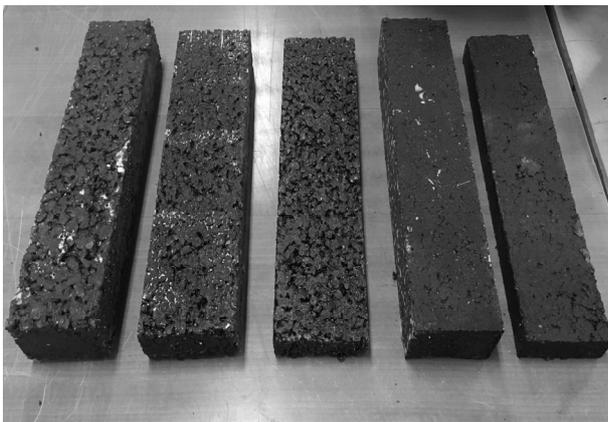


Fig. 7. Specimens for Test

위해 두께 30 mm, 40 mm, 50 mm로 제작하였으며 제작된 공시체는 Fig. 7과 같다.

## 4. 시험 결과

### 4.1 파괴횟수의 결정

시험은 상온 20°C에서 공시체를 4시간 이상 거치 후 실시하였다. 시험공시체를 금속판에 에폭시 본드를 사용해 접합하였다. 기존 균열을 모사하기 위한 하부 금속판의 간극(opening gap)을 2 mm로 하였으며, 변형은 0.64 mm와 1.0 mm로 제하 하였다. 0.64 mm의 변형제하는 Texas DOT의 시험 규정(Zhou and Scullion, 2005)을 참고하여 결정하였다. Suh et al. (2012)의 연구에 의하면 시멘트 콘크리트 포장위에 아스팔트 콘크리트 포장 5 cm 덧씌우기시 발생하는 중방향 변형량이 약 0.4 mm로 측정되었다. 반복직접인장시험에 0.64 mm의 변형을 가하는 것은 발생하는 변형량에 비해 조금 크나 시험 시간의 단축과 국의 시험 사례를 감안하였을 때 타당한 것으로 판단되었다.

시험은 공시체의 파괴시점에서의 반복제하횟수를 결정하여 조건에 따른 균열 저항성을 비교/평가 하는 것을 목적으로 한다.

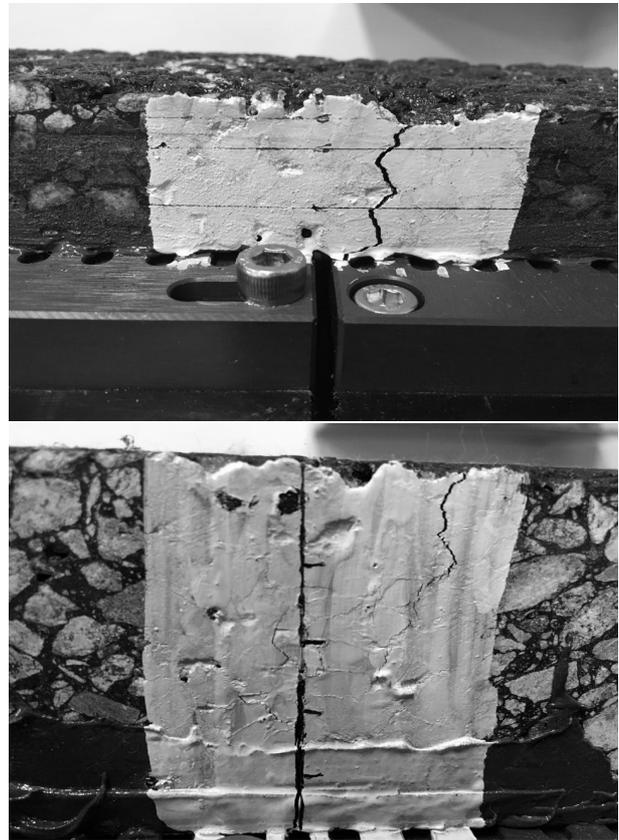


Fig. 8. Crack of The Specimen

파괴시점의 결정에 있어 균열 진전을 육안 관측하고자 하였으나 Fig. 8의 상단 그림과 같이 파괴시 균열이 확실하게 보이는 경우도 있으나 하단과 같이 발생한 균열이 매우 미세하여 균열을 관측하기 어려운 경우가 많았다. 미세한 헤어크랙이 관측되지 않다가 갑작스럽게 나타나거나 관측면에서는 확인이 어려우나 뒤쪽 면에서는 균열이 진전되어 있는 경우도 있어 육안관측에 의한 파괴시점의 결정과 균열 진전 양상을 파악하기에는 어려움이 많은 것을 알

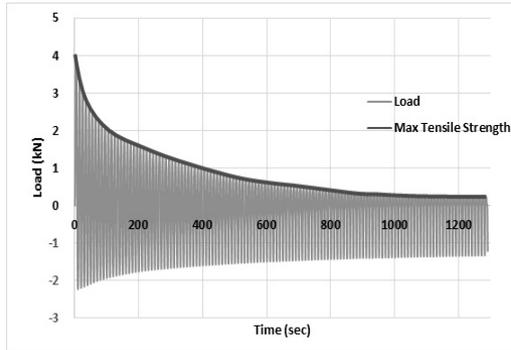
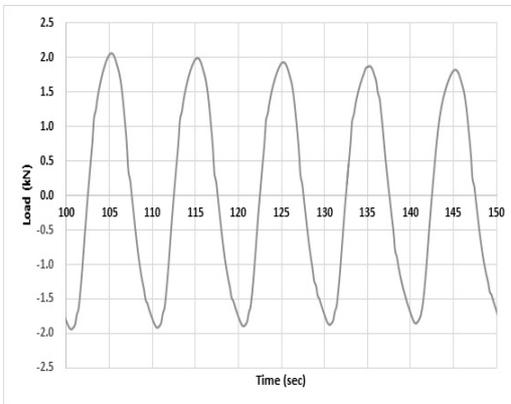
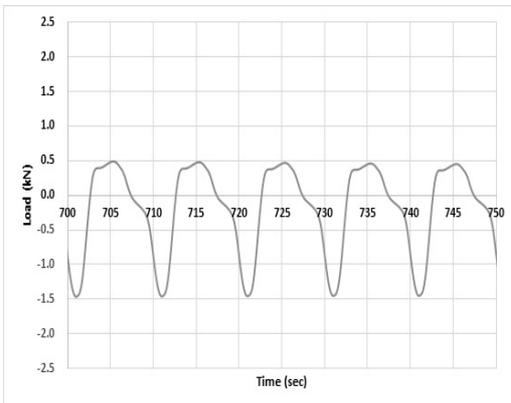


Fig. 9. Load Curve



<Crack Initiation>



<Specimen Failure>

Fig. 10. Failure Criteria of TxDOT

수 있었다.

시험시 측정된 하중곡선의 경우 Fig. 9와 같이 인장력(+)과 압축력(-)이 반복되어 나타나며 반복횟수가 증가할수록 크기가 작아지는 것을 알 수 있다. Fig. 9를 확대하면 Fig. 10과 같이 1회 변형재하시 발생하는 하중 곡선을 얻을 수 있다.

파괴시점을 결정하는 방법은 Zhou and Scullion (2005)의 연구에서는 하중곡선의 모양이 Fig. 10과 같이 초기의 매끄러운 모양에서 시료의 파괴가 발생하면 말안장 형상으로 나타나는 시점으로 제시하고 있으나 분석결과 말안장 모양이 나타나는 시점을 결정하는데 있어 주관적 판단이 개입되어 편차가 발생할 수 있었으며, 몇몇 시험에서는 말안장 모양의 하중곡선이 발생하지 않는 경우도 있어 파괴횟수를 결정하는데 어려움이 있는 것으로 나타났다.

이스팔트 콘크리트 공시체는 변형을 가하면 초기에 급격한 파손이 진전되다 어느 시점이 되면 파손 속도가 둔화된다. 즉 공시체가 파괴상태에 이르면 인장강도의 변화가 거의 없어지기 때문에 Fig. 11과 같이 인장하중 곡선에서 직선구간이 나타나는 시점을 파괴시

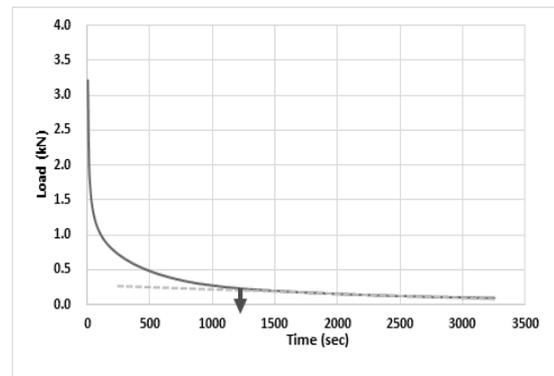


Fig. 11. Failure Time by Horizontal Section of Tensile Load Curve

Table 1. Number of Failure According to Horizontal Section of Tensile Load Curve

Thickness	Repetition No. at Retained Load
30 mm-1	73
30 mm-2	63
30 mm-3	173
AVG.	103
40 mm-1	398
40 mm-2	133
40 mm-3	137
AVG.	223
50 mm-1	826
50 mm-2	Undecidable
50 mm-3	1211
AVG.	1019

점으로 파괴횟수를 결정하여 보았다. 이와 같은 방식으로 파괴횟수를 결정할 경우 Table 1과 같이 동일 조건의 시료에서도 차이가 크게 나타났으며 수평부분을 판단하기 어려운 경우도 있었다.

하중곡선으로 확인이 어려움에 따라 실측된 인장하중의 변화가 3 N 이하로 거의 변화가 없는 시점을 기준으로 파괴시점을 산정하였으며 Table 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 앞서 하중 곡선으로 판단하는 경우에 비해 파괴시점을 수치적으로 판단할 수 있으나 동일조건에서의 시험 결과 차이가 크게 발생하였다.

공시체에 반복적인 인장 변형이 가해지면 초기 인장강도가 지속적으로 감소함으로 이를 기준으로 파괴 시점을 결정하고자 하였다. 시험기에서 측정되는 하중을 기준으로 초기 하중의 70%, 50%, 30% 10%일 때의 반복재하 횟수를 측정한 결과는 Table 3과 같다.

Table 2. Number of Failure According to Less than 3 N of Tensile Load Difference

Thickness	Repetition No. at Retained Load
30 mm-1	100
30 mm-2	70
30 mm-3	68
AVG.	79
40 mm-1	404
40 mm-2	107
40 mm-3	130
AVG.	214
50 mm-1	296
50 mm-2	122
50 mm-3	388
AVG.	269

Table 3. Test Results by Thickness

Thickness	Repetition No. at Retained Load			
	70%	50%	30%	10%
30 mm-1	4	12	32	82
30 mm-2	1	2	8	84
30 mm-3	2	3	13	83
AVG.	2	6	18	83
40 mm-1	2	6	47	150
40 mm-2	3	8	44	179
40 mm-3	2	15	50	175
AVG.	2	10	47	168
50 mm-1	3	11	125	1,032
50 mm-2	3	12	160	1,150
50 mm-3	2	15	180	1,213
AVG.	3	13	155	1,132

초기하중의 70%에 이르는 시점은 재하횟수 1~4회로 강제적인 변형이 공시체에 가해지면 초기에 균열이 발생하면서 인장하중이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이후 초기 하중의 50%, 30%, 10%의 인장하중 이르렀을 때의 반복횟수를 Table 3에 나타내었다. 초기인장하중의 10% 에서의 파괴횟수는 동일 조건 실험에서의 편차가 일정해지며 시험 조건에 따른 경향을 확연히 확인할 수 있었다. 또한 육안관측 결과 10%의 잔류 인장하중에서 균열이 상부까지 진전되어 파괴 상태를 관찰할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 반복직접인장 시험에서의 파괴시점의 결정을 초기인장하중의 10%가 되는 시점으로 결정하였다.

4.2 시험조건에 따른 반사균열저항성 변화

공시체 두께 30 mm의 경우 파괴횟수는 83회, 40 mm의 경우는 168회, 50 mm의 경우 1,132회로 나타났으며, Zhou and Scullion (2005)은 시험의 재현성에 동일 시험조건에서 10%의 오차범위에 있다면 결과가 충분한 신뢰성을 갖는 것으로 판단하였는데 초기하중의 10%에서의 반복횟수의 경우 그러한 오차범위를 만족하여 반사균열 저항성을 비교 판단할 수 있는 것으로 나타났다. Fig. 12와 같이 초기에는 두께에 따른 반복횟수에서 큰 차이가 없으나 최종 파괴시점에서는 두께 30 mm에 비해 두께 50 mm 공시체의 반복횟수가 13.6배 증가하여 반사균열 저항성에 포장 두께가 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

반사균열은 하부층의 변형이 클수록 더 빠르게 진전됨으로 이를 감안하여 재하변형의 크기를 1.0 mm로 하여 시험을 진행하였으며, Table 4와 같은 결과를 얻었다. 변형의 크기가 0.64 mm에서

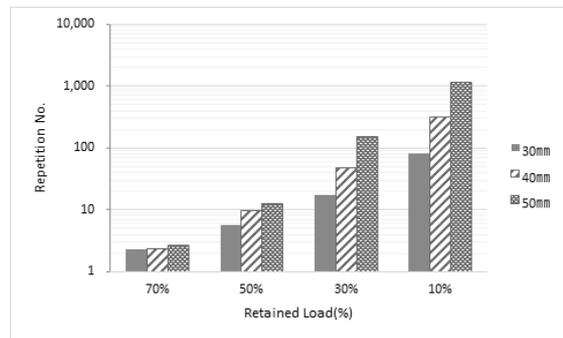


Fig. 12. Number of Failure by Thickness

Table 4. Number of Failure by Opening Displacement

Thickness	Opening Displacement	
	0.64 mm	1.0 mm
30 mm	83	16
40 mm	168	35
50 mm	1,132	190

1.0 mm로 1.56배 늘어날 경우 파괴횟수는 약 80% 감소하여 하부층의 변형량이 반사균열에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 초기하중의 30% 시점에서 10%로 감소하는 횟수의 경우 변형이 작을 경우 30%에 이르는 반복횟수의 5배 이상이 필요한데 비해 1 mm로 변형이 증가할 경우에는 1.65배로 더 빠른 균열 진전이 이루어짐을 확인 할 수 있었다.

고탄성 개질 아스팔트를 사용한 세립도 중간층을 설치한 경우 응력완화효과로 반사균열 저항성이 향상되는 것으로 알려져 있다 (Han et al., 2003; Kim et al., 2016). 재료적 특성에 따른 반사균열 저항 특성을 알아보기 위해 Radial 타입 SBS를 첨가한 고탄성 개질 아스팔트를 사용한 세립도 아스팔트 콘크리트 공시체를 제작하여 반복직접인장 시험을 수행하였다. 사용된 세립도 아스팔트 콘크리트의 입도는 Table 5와 같으며, 공극률 3%로 배합 설계하였으며 OAC는 10.0%이다.

두께 30 mm와 50 mm로 직접반복인장 시험을 수행한 결과는 Table 6과 같다. 두께 30 mm의 개질 세립도 아스팔트는 강성이 약하기 때문에 30 mm 두께의 SMA 아스팔트 콘크리트에 비해서 파괴시 반복재하횟수가 약 50% 감소하였다. 하지만 두께가 50 mm로 증가할 경우 초기 인장하중의 30%까지는 두께 50 mm의 SMA 아스팔트 콘크리트와 비슷한 수준을 나타내나 초기 인장하중 10%인 완전파괴상태까지는 1,000회에서라도 도달하지 않는 것으로 나타났다. 실제 육안 관측결과에서도 균열이 공시체의 2/3지점에서 더 이상 상부로 진전되지 않는 것으로 나타났다. 이는 연성이 높은 개질 세립도 아스팔트가 하부에 발생하는 변형을 상부층까지 전달하지 않아 균열의 진전이 발생하지 않는 것으로 파악되었다.

반사균열 억제를 위해 하부층에 충분한 연성 포장층을 설치하면 반사균열의 상부 진전을 감소시킬 수 있는 것으로 나타났으며 다만 포장체의 연성을 높이기 위해 세립도 아스팔트 입도를 사용함에 따라 소성변형 또는 상부로부터의 교통하중 지지력에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

Table 5. Gradation of Fine Asphalt Mixture

Sieve Size (mm)	10	5	2.5	0.6	0.3	0.15	0.08
Passing Wt. (%)	100	89.0	61.1	30.2	21.6	9.4	5.4

Table 6. Test Results by Thickness of Modified Fine Asphalt Concrete

Thickness	Repetition Number at Percentage of Initial Load			
	70%	50%	30%	10%
30 mm	2	4	10	40
50 mm	3	13	190	more 1,000

## 5. 결론

반복직접인장시험으로 아스팔트 콘크리트의 반사균열저항성 평가를 위해 파괴횟수의 결정과 영향요소를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 균열의 육안관측 및 그래프 형상을 통해 피로파괴 시점을 결정하는 기존 방법에 비해 초기 인장하중의 10%에 도달하였을 때를 파괴시점으로 결정하는 방법은 주관적 판단이 아닌 산술적 계산에 의한 피로파괴횟수의 결정이 가능하였다. 또한 시험결과 동일 조건 시료의 파괴횟수 편차가 10% 이내로 나타나 시험의 재현성을 확보할 수 있었으며 공시체의 피로파괴횟수로 아스팔트 콘크리트의 반사균열 저항성을 비교판단 하는데 무리가 없는 것으로 나타났다.
- (2) 포장 두께가 30 mm에서 50 mm 증가할 경우 파괴횟수는 13.6배 증가하여 반사균열 저항성에 포장 두께의 영향이 큰 것을 알 수 있었으며, 재하 변형의 크기를 0.64 mm에서 1.0 mm로 증가시켰을 경우 파괴횟수가 약 83% 감소하여 하부변형 증가에 따라 반사균열의 발생도 가속화됨을 알 수 있었다. 또한 세립도 개질 아스팔트 콘크리트의 경우 연성의 포장층이 하부층의 변형을 흡수하여 균열의 전이를 제어할 수 있는 것을 확인하여 반복직접인장시험이 포장층의 구조적 특성을 잘 평가할 수 있는 것으로 나타났다.
- (3) 공시체 두께, 변형재하의 크기, 재료적 특성을 변화시키면서 반복직접인장시험을 수행한 결과 시험 조건에 따른 균열저항성의 평가가 가능한 것으로 나타났으며, 이를 통해 반사균열에 영향을 미치는 요소들을 확인할 수 있었다. 기존 시험법과 비교하여 저렴한 비용과 빠른 시간안에 반사균열 저항성을 평가할 수 있는 반복직접인장시험은 도로설계시 반사균열 저항성의 평가 지표로 활용될 수 있는 것으로 나타났다.

## References

Alneami, A. H. and Almudadi, T. H. (2011). "A laboratory tool used to evaluate the reflective cracking in overlay asphalt pavement." *Al-Rafidain Engineering*, Vol. 19, No. 3 pp. 11-25. Available at: [www.roadseal.co.kr](http://www.roadseal.co.kr)

Germann, F. P. and Lytton, R. L. (1979). "Methodology for predicting the reflection cracking life of asphalt concrete overlays." *Research report FHWA/TX-79/09+207-5*, College Station, Texas, March.

Han, S. K., Cha, S. M. and Cho, Y. H. (2003). "The current state of reduction methods of reflection crack in Korea." *Pavement Engineers*, Vol. 5, No. 1, pp. 22-27 (in Korean).

Kim, C. W. (2015). "Old pavement improvement countermeasure at

- jungbu & youngdong line.” *Seminars for technical development of asphalt pavement*, pp.2-13, Korea Expressway Corporation (in Korean).
- Kim, N. S., Jo, S. H. and Lee, B. L. (2016). “Research of development of binder for high performance reactive asphalt pavement.” The Korea Society of Disaster Information (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2014). Yearbook of road statistics (in Korean).
- Rigo, J. M. (1993). “General introduction, main conclusions of the 1989 conference on reflection cracking in pavements, and future prospects.” Proceedings of the 2nd International RILEM Conference on Reflection Cracking in Pavements, Liege University, Belgium, Edited by Rigo, J. M., et al., pp. 1-20.
- Suh, Y. C., Lee, Y. M., Kim, J. H. and Cho, N. H. (2012). “Behavior and resistance to the reflection crack of composite pavement with waterproof membrane.” *Journal of Highway Engineering*, Vol. 14, No. 2, pp 1-10, Korean Society of Road Engineers (in Korean).
- Zhou, F. and Scullion, T. (2003). “Upgraded overlay tester and its application to characterize reflection cracking resistance of asphalt mixtures.” Report No. FHWA/TX-04/0-4467-1, Texas Transportation Institute.
- Zhou, F. and Scullion, T. (2005). “Overlay tester- A rapid performance related crack resistance test.” Report FHWA/TX-05/0-4467-2, Texas Transportation Institute.